

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**OVĚŘOVÁNÍ BARVITELNOSTI
EXTRAKTU
Z BORYTU BARVÍŘSKÉHO**

**VERIFICATION OF THE POSSIBILITY
OF DYEING WITH EXTRACT OF WOAD**

LIBEREC 2009

HANA KŘÍŽOVÁ

STUDIJNÍ OBOR: TMZ

Zadání bakalářské práce:
(vložit originál)

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12.5.2009

.....

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat prof. Kryštůfkovi a ing. Machaňové za cenné rady
a svému manželovi a synovi za jejich nekonečnou trpělivost a lásku,
kterou mi usnadnili moje studium.

Anotace:

Boryt barvířský (*Isatis tinctoria*) je prastará evropská barvířská rostlina, která poskytovala po staletí vysoce ceněné tmavě modré barvivo - indigo a která ztratila na významu až s objevem indiga syntetického na konci 19.století.

Teoretická část je věnována historii přírodního indiga a objasnění pochodů, ke kterým při barvení borytem i syntetickým indigem dochází.

První polovina experimentální části je zaměřena na hledání jednoduchého a co nejúčinnějšího postupu při barvení textilií borytem, druhá část experimentů je zaměřena na indigo syntetické a na možnost dosahování zajímavých barevných efektů v závislosti na různých podmínkách barvení.

Cílem práce nebyla rekonstrukce starých barvířských technologií, ale vypracování jednoduchého ekologického i ekonomického postupu barvení pro aplikaci v domácích či manufakturních podmínkách.

Annotation:

Woad (*Isatis tinctoria*) is an ancient European dyeing plant that has given highly appreciated dark blue dye - indigo for centuries. It lost its significance as late as at the end of the 19. century when synthetic indigo was discovered.

The theoretical part describes history of the natural indigo and explains chemical processes that are present when dyeing with woad as well as with synthetic indigo. The first half of the experimental part focuses on looking for an easy and effective way how to dye fabric with woad. The second part of experiments focuses on synthetic indigo and on options how to achieve interesting colour effects depending on various conditions.

The goal of the thesis was not reconstructing old dyeing technologies, but making an easy ecological and economic way of dyeing, applied in homelike and manufacture conditions.

Klíčová slova: boryt, indigo, přírodní barviva, kypová barviva, barvení textilu

Keywords: woad, indigo, natural dyes, vat dyes, textile dyeing

Obsah:

Použitá literatura a jiné zdroje	8
Předmluva	9
 I. Teoretická část	 10
1. Rostlinné indigo	10
2. Historie indiga	11
3. Stará technologie výroby a barvení	13
4. Boryt barvířský	17
4.1 Pěstitelské rady a postřehy	17
4.2 Barvířská rostlina	18
4.3 Léčivka	18
4.4 Energetická rostlina	19
4.5 Olejnatá rostlina	19
5. Výtěžnost	20
6. Barvení borytem	20
6.1 Příprava extraktu z boryt	20
6.2 Zpracování extraktu z borytu	20
6.3 Chemikálie	21
6.4 Barvený materiál	21
7. Indigo	22
7. 1 Deriváty indiga	22
8. Barvení indigem	24
8.1 Kypování- redukce	24
8.1.1 Kypování v matečné kypě	26
8.1.2 Kypování v barvicí lázni	26
8.2 Natažení barviva na vlákno	27
8.3 Oxidace	27
8.4 Praní	27
8.5 Technologie barvení indigem	28
8.5.1 Klocovací způsob	28
8.5.2 Láznový (vytahovací) způsob	28

8.6 Chemikálie	.....	28
8.7 Neegality	.....	29
8.8 Faktory ovlivňující barvení indigem	.....	29
8.8.1 Vliv pH	.....	29
8.8.2 Vliv teploty a doby barvení	.....	30
8.9 Receptury pro barvení syntetickým indigem	.....	32
9. Stálosti	.....	33

II. Experimentální část

1. Popis základních postupů experimentů	.....	34
2. Příprava extraktu z listů borytu	.....	35
2.1 Extrakce studenou vodou	.....	35
2.2 Extrakce teplou vodou	.....	36
2.3 Extrakce vroucí vodou	.....	36
3. Získání indiga z extraktu	.....	38
4. Kypování	.....	39
5. Barvení	.....	41
6. Výtěžnost	.....	44
7. Možnosti skladování a celoročního barvení borytem	.....	45
Závěr	.....	47
Barevné přílohy	.....	48 - 58

Použitá literatura a jiné zdroje:

- [1] Teresinha Roberts,V.Británie, on line <http://www.woad.org.uk/index.html>
- [2] Organická chemie pro biochemiky II., část 17 a 18, VŠCHT Praha, on line http://www.vscht.cz/lam/uceni/OCHpredn1718_03a.pdf
- [3] Wikipedia (angl.) on line <http://en.wikipedia.org/wiki/Woad>
- [4] Baleka J.: Modř, barva mezi barvami, Academia 1999
- [5] Karpenko V.: Barvy z polí i z moře, VTM 10/2002
- [6] Wikipedia (něm.), on line <http://de.wikipedia.org/wiki/Indigo>
- [7] Description des arts et métiers, faites ou approuvées par Messieurs de l'Académie royale des sciences de Paris - Tome VIII. L'art de l'indigotier (par M. de Beauvais-Raseau), Neuchâtel 1777
- [8] Bidlová V.: Barvení pomocí rostlin, Grada Publishing 2005
- [9] Schweppe H.: Handbuch der Naturfarbstoffe, ECOMED 1992
- [10] Museum indiga, Magrin, Francie, <http://www.pastel-chateau-musee.com/musee.htm>
- [11] Moudrý J: Alternativní plodiny, skriptum, Jihočeská univerzita, Č. Budějovice, 1996
- [12] Wikipédia (franc.), on line http://fr.wikipedia.org/wiki/Isatis_tinctoria
- [13] BBC News, on line <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/4783831.stm>
- [14] Petříková V.: Produkce energetických rostlin v pánevních oblastech , VÚRV, Praha 1996
- [15] INARO (Německo-francouz.-švýcar. informační systém o přírodních zdrojích), on line http://www.inaro.de/Deutsch/KULTURPF/Faerberwaid/F_Waid.htm
- [16] Mortierovi, Francie on line <http://www.latelierdescouleurs.com/>
- [17] on line <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/>
- [18] Kol. autorů z KTC TUL : Zušlecht'ování textilií, skriptum TUL, Liberec 2008
- [19] Felix V.: Chemická technologie textilní, SNTL, Praha 1956
- [20] Kryštůfek J., Wiener J.: Barvení textilií I., skriptum TUL, Liberec 2008
- [21] Giles C.H.: A Laboratory Course in Dyeing, Bradford 1974, England

Předmluva:

Mojí základní inspirací byla knížka Mgr.Věry Bidlové Barvení pomocí rostlin a také dnes již trochu zastaralá, nicméně velice zajímavá, čtivá a praktickými barvířskými postřehy a radami nabitá učebnice dr.Václava Felixe z r.1956 Chemická technologie textilní. Při pátrání po starých barvířských postupech jsem navázala písemný kontakt s ekologickou farmou manželů Mortierových ze severofrancouzské Picardie, kteří se také barvením pomocí borytu zabývají a ožívují tak slavnou minulost evropského indiga přímo v oblasti historicky spojené s produkcí indiga.

Že jde v případě borytu barvířského alespoň u nás opravdu o zapomenutou rostlinu i technologii dokazuje i to, že se mi nepodařilo na českém semenářském trhu sehnat semena této v Evropě kdysi tak hojné rostliny. Nejbližší dostupný zdroj byl až v Německu.

Vyzkoušela jsem postupy blízké tradičnímu zpracování borytu, postupy popisované paní Bidlovou i postupy z francouzské barvířské dílny, ale ukázalo se, že najít co nejvýtečnější způsob barvení není tak snadné a že ne vše, co se publikuje, je použitelné či pravdivé. Na počátku jsem netušila, že mě čekají desítky neúspěšných pokusů, než jsem po více jak půl roce tápání a omylů dospěla k uspokojivému a jednoduchému postupu barvení. Na celý rok se naše kuchyně proměnila v chemickou laboratoř s typickým pachem borytových výluhů a štiplavým zápachem oxidu siřičitého uvolňovaného při oxidaci dithioničitanu, ale přesto bylo pro mne barvení borytem především velkým dobrodružstvím.

Modrá je planeta kde můžeme žít,
 Modrá je voda kterou musíme pít,
 Modrá je obloha když odejde mrak,
 Modrá je dobrá už je to tak.
 (Žlutý pes)

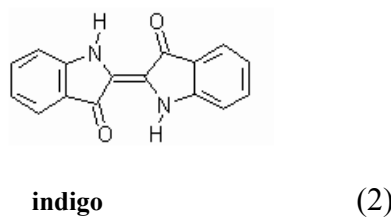
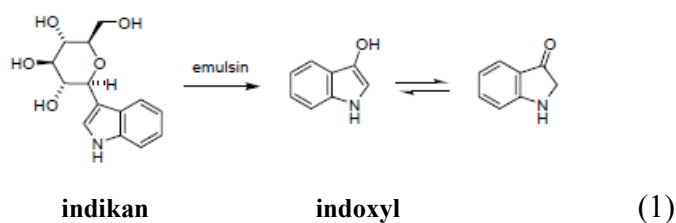
I. Teoretická část

1. Rostlinné indigo

Indigo je jedno z nejstarších známých rostlinných barviv, které tvoří v pevném stavu tmavě modrý prášek. Přírodní indigo, respektive jeho prekursor, glukosid indikan, se vyskytuje především v řadě **indigovníků**, tropických rostlin rodu Indigofera. Jak název napovídá, pochází z Indie, odkud se pěstování indigovníků rozšířilo do mnoha tropických oblastí celého světa.

Evropskou rostlinou poskytující indigo je **boryt barvířský**, rostlina je známá a používaná k barvení patrně už od mladší doby kamenné. Obsah indiga (resp. indikanu) v borytu je ve srovnání s tropickými indigovníky mnohem menší, k získání 2 kg indiga bylo zapotřebí zpracovat asi tunu listů. [1]

Podstatou získávání indiga z rostlin je proces, při kterém se rostlinný glukosid indikan hydrolyzuje na žlutý indoxyl. Hydrolytické štěpení indikanu na indoxyl a glukózu (1) probíhá enzymaticky působením β -glukosidázy emulsinu.[2] Indoxyl následně vzdušnou oxidací, při které dojde ke spojení dvou molekul indoxylu, teprve poskytuje modré indigo. (2)



2. Historie indiga

Nejstarší zmínky o barvení rostlinným indigem pocházejí ze 3. tisíciletí př.n.l. z Číny i ze staroegyptských papyrů. V Evropě pocházejí nejstarší archeologické nálezy indiga z mladší doby kamenné, v podobě jeskynních kreseb ve Francii, z doby železné na území Německa pocházejí nálezy otisků borytových semen v keramických nádobách, a konečně ze starší doby železné jsou i nálezy indigem obarvených textilií v hrobech hallstattského pohřebiště v Rakousku.[3]

Indigo znali i staří Řekové, Římané, Germáni a Galové, Caesar se ve své knize zmiňuje o hrozivě vyhlízejících britských bojovnících, kteří se natírali barvivem z borytu, když šli do boje. Borytem se natíraly i germánské dívky při náboženských obřadech, indigová modř měla velký význam i v antice. Modré barvě bylo přisuzováno v různých kulturách mnoho mystických významů, protože její získání z přírody bylo vždy nesnadné. Modř byla spojována s božstvem vod i božstvem oblohy, se stvořením světa, byly jí přisuzovány magické schopnosti jednak záporné- představovala spojení s ďábelskými silami a čarodějnictvím, jednak kladné- zde převažuje ochrana před zlými duchy a démony. Novorozené děti byly často zavíjeny do modré pleny na ochranu před zlými démony, modř měla zahánět zlo a démony také od lidských příbytků.[4]

Po rozpadu římské říše bylo v Evropě po dlouhou dobu hledáno domácí barvivo, které by se vyrovnalo tropickému indigu krásou i stálostí, ale bylo dostupnější. Tropické indigo nahradil boryt, přestože indigo z něj získávané bylo světlejší a mělo mnohem menší výtěžnost. S cílem podpořit domácí hospodářství nařídil franský král Karel I. Veliký pěstovat na svých dvorcích boryt barvířský. Navíc nařídil nosit modře zbarvené pracovní oblečení a založil tím tradici vedoucí přes modré pláště a modré montérky až k džínům.[4]

Středověk byl zlatou érou borytu barvířského, kdy mnohá evropská města díky indigu z něj získávanému velmi zbohatla. Největšími producenty indiga byly Francie (Bretaň, Normandie, Picardie, Gaskoňsko, Toulouse), Německo (Durynsko) a Velká Británie (Lincolnshire a Somerset).[3] Durynský Erfurt zbohatl na indigu natolik, že tím město získalo dostatek prostředků k založení univerzity. [5]

O 300 vesnicích kolem Erfurtu, které se zabývaly pěstováním borytu, se ve 13.století hovořilo jako o "zlatém rounu Durynska". Ovšem v r.1629, v době třicetileté války, jich zbývala už jen desetina.[4]

Výroba indiga byla velmi náročná a odpovídala tomu i jeho cena, která z něj dělala luxusní zboží. Na počátku 17.století Holanďané založili Východoindickou společnost a začali dovážet z Indie podstatně výtěžnější a tím i levnější indigo, což byl i přes různá omezení dovozu a dokonce i zákazy pod hrozbou trestu smrti počátek konce evropského indiga. Omezení a zákazy byly ve Francii a Británii zrušeny až v polovině 18.století, ovšem to už ke svému konci špěla i éra pěstitelů a dovozců indického indiga, protože v r.1878 německý chemik **Adolf von Baeyer** (obr.1) dospěl ke strukturnímu vzorci indiga a podařilo se mu vyrobit indigo syntetické, a to mnohastupňovou syntézou z anilinu a kyseliny monochloroctové. Nejen za tento převratný objev dostal v r.1905 Nobelovu cenu. Od 90.let 18.století už syntetické indigo zcela ovládlo trh a přírodní indigo ukončilo svou dlouhou a slavnou historii. Poslední dvě továrny na zpracování borytu byly uzavřeny v britském Lincolnshire v r.1930. [1]

Přesto se ještě dnes na některých místech světa získává ve světě ve velkém indigo z rostlin, např. v Brazílii a Salvadoru se nadále pěstují některé kultivary indigovníků. [6]



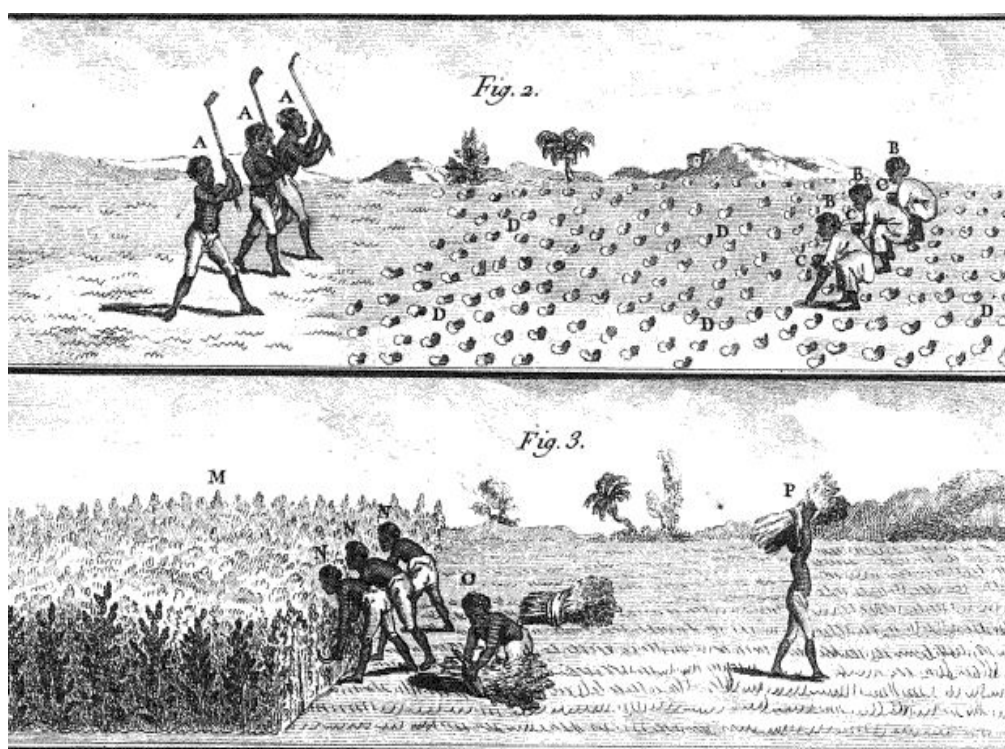
Obr.1: Adolf von Baeyer [6]

*"..... známé jsou i nám tyto věci z Indií pocházející, totiž : porcelány, muškátový květ,
kůlky, indigo barva drahá,...."*

*(Kryštof Harant z Polžic a Bezdržic: Cesta z Království Českého do Benátek,
odtud do země Svaté, země Judské a dále do Egypta,
a potom na horu Oreb, Sinai a Sv. Kateřiny v Pusté Arábii.)*

3. Stará technologie výroby a barvení

V tropech- Indii, Africe i Jižní Americe- se indigovníky pěstované na plantážích (obr.2) sklízely obvykle 2x ročně a většinou celé rostliny indigovníku se zpracovávaly v tzv. indigotériích. Rostliny se nechávaly kvasit ve vodních jámách (obr.3) a při tomto kvašení se hydrolyticky štěpil již výše zmíněný glukosid indikan na glukózu a indoxyl. Následně se vypouštěly jámy do níže položených jímek, kde se voda okysličovala čerpením nebo intenzívními údery holí. Oxidací byl indoxyl převeden na nerozpustné indigo, které se sráželo do vloček a klesalo ke dnu nádrže. Sediment byl sebrán, čištěn a listován do cihlíček či hrudek, které se sušily na slunci (obr.4) a potom přepravovaly

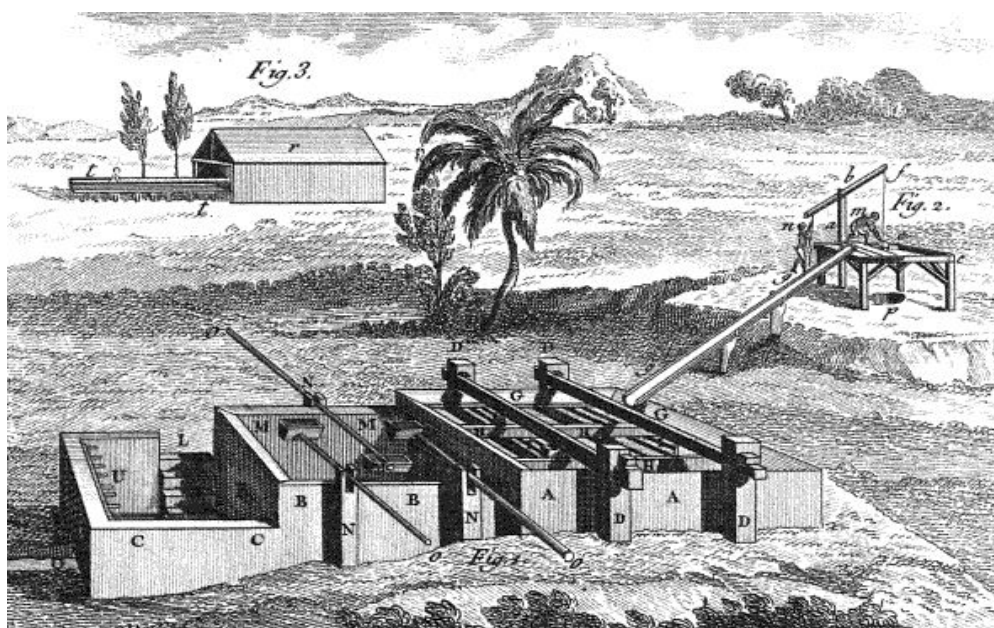


Obr.2: Indigovníková plantáž na Madagaskaru [7]

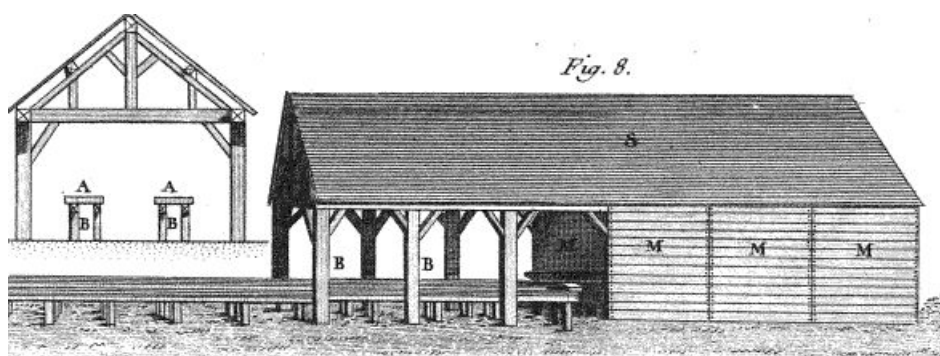
k barvířům nebo vyvážely. Ve starověku i středověku putovalo indigo z Asie do Evropy karavanami po Hedvábné stezce. Nejvíce ceněné bylo východoindické indigo, západoindické bylo méně jemné. [4]

Na evropských trzích byla pečlivě ověřována pravost a čistota indiga, pravé a nenastavované indigo bylo suché, lehké, ve slunečním světle leskle fialové barvy, plavalo na vodě, dobře hořelo, při vložení do žhavého uhlí se tvořil fialový kouř a po shoření zanechávalo jen málo popela. [7]

Zajímavé je, že Evropa dlouho netušila, že jde o rostlinný produkt, dovážený asijský indigový prášek slisovaný v cihličkách byl dlouho považován za minerální pigment.[8]



Obr.3: Indigotérie na Haiti (Saint-Domingue) [7]



Obr.4: Indigotérie na Haiti (Saint-Domingue)- sušárna indiga [7]

Postup získávání barviva z listů borytu byl poněkud složitější a zdlouhavější. Listy borytu se nejprve drtily na kaši ve zvláštních mlýnech (obr.5 bar.příl.). Poslední vodní mlýn na drcení borytu byl v provozu v r.1902 v Durynsku [9].

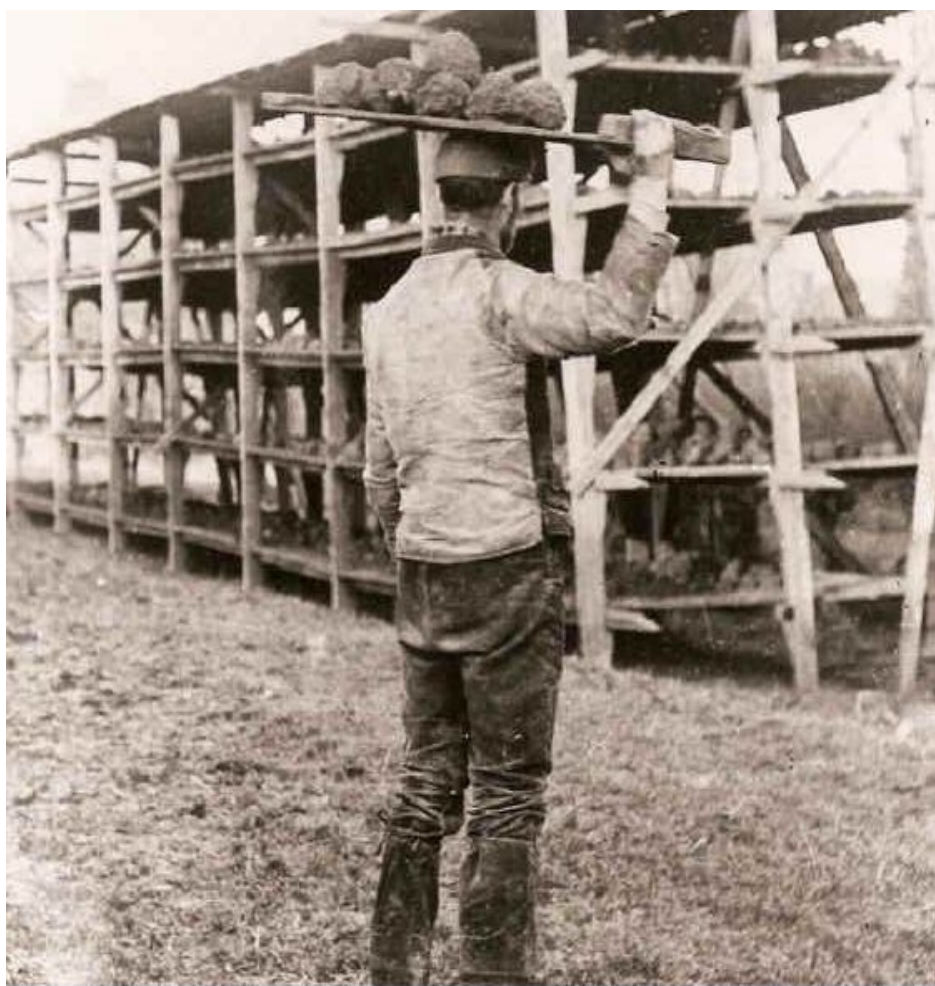
Rozdrcená listová hmota se poté navršila do asi metr vysokých hromad. Za dva týdny se hmota promíchala a formovaly se z ní koule (obr.6), které se volně sušily (obr.7).

Tyto borytové koule se dále zpracovávaly - znovu se semlely, další 2 roky se skrápěly močí a roztokem potaše a nechávaly důkladně vykvasit. Teprve potom byly připraveny na cestu k barvířům. Barvíři, stejně jako řemeslníci zpracovávající boryt, nebyli kvůli odpornému zápachu zrovna vítanými sousedy. Také oni již zkvašený boryt zahřívají po tři dny s močí a potaší (uhličitan draselný). Teprve do této zkvašenou močí páchnoucí žlutozelené lázně se zhruba na hodinu namáčely textilie a konečně po vytažení na vzduch postupně zmodraly. V Indii byli barvíři indigem většinou zástupci nejnižších kast a byli vykázáni na okraj města po proudu řeky, aby svou prací neznečišťovali město, u nás byl např. v Praze těmto barvířům určen od středu města vzdálený Barvířský - dnešní Slovanský - ostrov. [4]



Obr.6: Výroba borytových koulí (Anglie 1883) [1]

Staří barvíři barvili borytovým indigem nejprve v dřevěných, později měděných nádobách, hlavní přísadou byla již zmiňovaná zkvašená moč a potaš, ale používali i jiné přísady, především k odstranění dalších barevných příměsí z roztoku. Borytová lázeň totiž kromě indoxylu obsahuje i jiná nežádoucí barviva, např. zelený chlorofyl nebo žlutý kvercetin. Barvíři si svá výrobní tajemství bedlivě střežili, nicméně jednou z důležitých přísad bylo např. vápno. Jedna jihorakouská továrna (r. 1840) na zpracování přírodního indiga uvádí ve svých postupech při čištění indiga a odstraňování různých rostlinných příměsí jako přísady např. nejen hašené vápno, ale i FeSO_4 , cínan draselný, kyselinu sírovou a chlorovodíkovou. [9]



Obr.7: Sušení borytových koulí (Anglie 1883) [1]

4. Boryt barvířský

Boryt barvířský (*Isatis tinctoria*) je dvouletá bylina z čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*). V prvním roce vytváří rostlina bohatou přízemní růžici listů (obr.8 a 9 bar.příl.), druhým rokem vyžene až 1,5 m vysoký stonek s mnohem menšími lístky, které se ke sběru a barvení již příliš nehodí a od května do července kvete žlutými chocholičnatými hrozny, takže v květu trochu připomíná řepku, ovšem boryt kvete jemnějšími kvítky (obr.10 bar.příl.).

Semena borytu jsou úzce vejčitá, na průřezu stlačeně trojúhelníkovitá. Listy jsou namodralé zelené, lysé, celokrajné, srdčité až šťelovitě objímavé. Kořen je kulový, silný, postranní kořeny tenké. Lodyha přímá, často v horní polovině větvená, oblá, lysá nebo při bázi krátce odstále chlupatá.

Boryt bývá považován za plevelnou rostlinu ve vinicích, vytváří rumištní porosty podél cest. Je spíše teplomilný, roste na kyprých vápnitých, na dusík bohatých půdách. Vyhovuje mu slunné stanoviště, popřípadě částečný stín. [11] Je původní rostlinou v asijských stepích, ale pěstováním se rozšířil po celé Evropě a do severní Afriky. Dodnes roste zplaněle ve stepních společenstvech teplejších oblastí. Byl zavlečen i do severní Ameriky a v některých oblastech USA je považován za agresivní plevel, podobně jako bolševník. [12]

4. 1 Pěstitelské rady a postřehy

Boryt je vhodné vysévat brzy zjara, kdy teploty trvale vystoupí alespoň na 2-4 °C (březen-duben) do kypré, humózní půdy (rostlina je schopná snášet i na obsah živin značně chudé půdy, ovšem je zároveň nutné počítat s mnohem menší produkcí barviva), na slunné nebo polostinné stanoviště, dobře zavlažované, ne však trvale zamokřené, ne příliš hluboko (1-2 cm), do řádků alespoň 25-30 cm od sebe, klíčící rostlinky pak postupně protrhávat. Volila jsem raději hodně mělký výsev a také jsem pro nedostatek místa vysévala rostliny do řádků jen cca 20 cm od sebe a rostlinky nechala růst poměrně

hustě, v cca 10-15 cm odstupech. Vzhledem k tomu, že jsem po celé vegetační období rychle přirůstající listy neustále protrhávala a spotřebovávala na pokusy, takto hustý výsev rostlinám příliš nevadil.

I přes obsah nepříjemně štiplavých látek v listech (o kterých jsem se přesvědčila chuťovou zkouškou) boryt chuťově vyhovoval nejen housenkám bělásků (jde přeci jen o brukvovitou rostlinu a proto lze předpokládat podobné škůdce jako např. u zelí, kapusty či kedlubny), ale především se stal vítanou pochoutkou v našem kraji přemnožených slimáků.

Celé vegetační období jsem s nimi sváděla urputný boj - likvidovala jsem je sběrem i chemicky pomocí takřka denně obnovovaného posypu granulí na hubení slimáků, přesto slimáci zvládli zlikvidovat odhadem čtvrtinu až třetinu celého porostu borytu.

Přesto však mě tato houževnatá a bujně přirůstající rostlina stačila na záhonku o rozměrech zhruba 1,5 x 1,5 m (obr.11 bar.příl.) zásobovat celé léto a podzim materiálem k pokusům, včetně obarvení 1 košile a 3 triček. Tento malý záhonek borytu vyprodukoval během svého vegetačního období od dubna do října několik kg listové hmoty!

4.2 Barvířská rostlina

Tato práce je věnována základnímu významu borytu, tedy borytu jakožto zdroji přírodního indiga.

4.3 Léčivka

Boryt je používán také jako léčivá bylina, a to především v čínské tradiční medicíně, zřídka též v evropském lidovém léčitelství. Má výborné dezinfekční schopnosti, kterých využívali už keltští válečníci. Omezuje množení mikrobů zejména u *Salmonella typhi*, *Neisseria meningitidis* a leptospirózy. [11] Pozitivně ovlivňuje činnost plic, srdce a žaludku. Omezuje riziko vzniku encefalitidy, respiračních infekcí, influenzy, hepatitid,

bolestí různého typu, akutní disenterie, gastroenteritidy a upravuje krevní tlak.

V čínské medicíně je používán především kořen borytu, a to proti bolesti v krku, bolestem hlavy, horečce, hepatitidě a příušnicím. [12] Vědci objevili, že kromě isatanu obsahuje boryt také glucobrassicin a neoglucobrassicin - látky, které jsou obsaženy ve 20x menším množství také v brokolici a jsou považovány za velmi účinné látky působící proti vzniku rakoviny. [1] [12] [13]

4.4 Energetická rostlina

Zajímavým a dosud nevyužitým pozitivem borytu je jeho použití ve fytoenergetice. Boryt je pro svůj značný a rychlý nárůst zelené hmoty vhodný také jako zdroj energie, a to ve formě spalování biomasy. Tímto způsobem lze využít nejen zemědělskou půdu, ale také různým způsobem pro potravinářské zemědělství znehodnocenou půdu, např. půdu zdevastovanou těžební činností a určenou pro rekultivaci. Boryt byl testován spolu s dalšími technickými plodinami Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze a výnos suché hmoty dosahuje u borytu kolem 10 tun/hektar, což je pro ilustraci zhruba čtvrtinový až třetinový výnos v porovnání s všeobecně známou agresivní křídlatkou.

Pokud jde o spalné teplo, boryt i křídlatka jsou naprosto srovnatelné, spalné teplo obou činí kolem 18 MJ/kg. Vzhledem ke značnému objemu listů, které je nutno zpracovat pro účely barvení, se spalování rozdrčených a vylouhovaných zbytků borytové fytomasy - samozřejmě předsušené a slisované do briket- jeví jako rozumné doplňkové využití této rostliny. [13]

4.5 Olejnatá rostlina

Z borytových semen lze také lisovat olej, který je možné použít k technickým účelům podobně jako olej lněný, např. jako součást malířských lazur. Ze 60 kg semen lze vylisovat asi litr oleje. [1] Dle jiného zdroje [15] obsahují semena borytu 30% oleje.

5. Výtěžnost

V anglické literatuře se uvádí, že 1 akr (= 0,4 hektaru) zemědělské půdy vyprodukuje asi 10 tun listů při dvojí sklizni do roka. Z jedné tuny listů lze získat 2 kg indigového prášku. [1]

Ostatní prameny se příliš od tohoto odhadu neliší, většinou je obsah indiga v listech borytu uváděn do 0,5% (výtěžnost 0,26 až 0,32 %, ojediněle zmíněno až 0,64% [9])

6. Barvení borytem

6.1 Příprava extraktu z borytu

Základním úkolem při barvení borytem je příprava výluhu z listů borytu, který obsahuje co největší množství indiga, respektive jeho prekurzoru indikanu a z něj získat v co nejkratší době po extrakci z listů indigo.

Pomineme-li zdlouhavou fermentaci listů, existuje mnohem rychlejší a jednodušší způsob hydrolýzy indikanu, a to pomocí horké vody. I zde se však návody značně liší.

Bidlová [8] uvádí postup, při kterém se listy borytu nadrobno nasekají, zalijí (studenou) vodou a lázeň se zahřívá až na maximálně 45- 50 °C po dobu 1 hodiny.

Dle postupu z francouzské barvířské dílny manželů Mortierových [16] se připravuje lázeň z celých listů, které se přelijí vroucí vodou a po 3-5 minutách se listy scedí.

K barvení se používají především listy čerstvé, které vzhledem k tomu, že boryt je řazen mezi tzv. energetické rostliny [14] se značným přírůstkem listové hmoty, neustále bujně dorůstají, a to po celou dobu vegetace, zhruba od dubna do října.

6.2 Zpracování extraktu z borytu

Ve výluhu z listů borytu je obsažen indoxyl, hydrolyticky odštěpený od indikanu. Jde však o nestálou látku a proto je nutné z něj co nejrychleji vyrobit indigo. Tento proces- spojení dvou indoxylů- je oxidační a probíhá v zásaditém prostředí. (1) (2)

Postupy dalšího zpracování výluhu z borytu s vyoxidovaným indigem jsou v zásadě shodné s postupy láznového barvení syntetickým indigem (viz kapitola 8. Barvení indigem)- alkalická redukce dithioničitanem a hydroxidem sodným (zkypování), vložení barvené tkaniny do lázně, (předúprava pro dobré smočení může být zjednodušena na vložení tkaniny na krátký čas do vroucí vody a důkladné odždímnutí), po barvení vyjmutí tkaniny z lázně, odmačknutí přebytečné lázně, zhruba půl- až hodinová oxidace na vzduchu, horké mydlení, ruční praní.

V literatuře uvedené receptury byly použity jen jako orientační základní postupy, v experimentální části práce byly zkoumány různé způsoby přípravy barvicí lázně, doby barvení, různé dávkování redukčního činidla i alkálie. Byly aplikovány i staré barvířské "triky" pro lepší vytažení barviva z lázně - pasážování (opakované natahování barviva na tkaninu střídané s několikaminutovými oxidačními pauzami), přístřování lázně dithioničitanem (eliminace samovolné oxidace lázně vzdušným kyslíkem).

6.3 Chemikálie

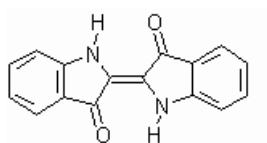
Vhodnými chemikáliemi pro praktické barvení jsou jako alkálie hydroxid sodný, případně pro barvení vlny slabší zásada - soda (Na_2CO_3), a jako redukční činidlo převádějící indigo na rozpustnou leukoformu dithioničitan sodný. Obě tyto látky jsou relativně levné a dostupné i amatérům, běžně prodávané v drogeriích, louh jako prostředek k čištění odpadních potrubí a k přípravě odmašťovacích lázní, dithioničitan jako redukční odbarvovací činidlo (Odbarvovač Druchema). Zpětnou oxidaci leukosloučeniny na indigo zajistí vzdušný kyslík.

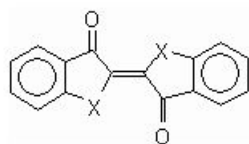
6.4 Barvený materiál

Bidlová [8] ve své knize popisuje postupy, při kterých je barvicí lázeň alkalizována sodou. Dle ilustrací lze předpokládat, že postup v její knize je určen především pro barvení vlněné příze, což odpovídá tomu, že vlna nesnese příliš zásadité prostředí- pH vyšší než 9 ji už značně poškozuje. Vzhledem k tomu, že na našem trhu už prakticky

nelze koupit vlněnou tkaninu, moje pokusy byly z praktických důvodů zaměřeny především na barvení bavlny. Bavlna, stejně jako jiná rostlinná - celulózová vlákna, dobře snáší i silně zásadité prostředí, což je v případě barvení indigem i borytem velmi výhodné, protože nejegálnějšího vybarvení lze dosáhnout při použití silné alkálie, např. NaOH a zároveň mohou být takto aplikovány různé způsoby obarvení tkaniny (barvením při velkém rozpětí alkalického pH, od 7,5 do 13) bez rizika většího poškození textilie.

7. Syntetické indigo





Obr.13: Deriváty indiga (X= NH,S,Se,Te)

X	název	λ_{max} [nm]
NH	indigo	606
Se	selenindigo	562
S	thioindigo	543
O	oxindigo	432

Tab.1: Absorpční maxima různých derivátů indiga (v etanolu) [17]

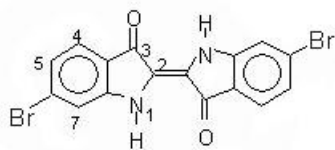
absorbovaná vln.délka [nm]	spektrální barva	doplňková/ pozorovaná barva
pod 380	UV záření	
380-435	fialová	zelenožlutá
435-480	modrá	žlutá
480-490	zelenomodrá	oranžová
490-500	modrozelená	červená
500-560	zelená	purpurová
560-580	zelenožlutá	fialová
580-595	žlutá	modrá
595-605	oranžová	zelenomodrá
605-730	červená	modrozelená
730-780	purpurová	zelená
nad 780	IR záření	

Tab.2: Vnímání barev podle absorbované vlnové délky

Lidské oko je citlivé na vlnové délky světla v rozmezí zhruba 380-780 nm, kratší vlnová délka je označována jako ultrafialové záření, delší jako infračervené. Je-li část viditelného spektra nějakou látkou selektivně absorbována, lidské oko ji vnímá v barvě doplňkové (komplementární). (Tab.2) [18]

Z uvedeného vyplývá, že různé heteroatomy v molekule indiga vyvolávají různé rozložení elektronů, čímž posouvají v tomto poměrně malém konjugovaném systému vnímané barevné odstíny indiga od základní modré (modrozelené) k různým odstínům fialové a purpurové, až po žluté oxindigo.

Dalším derivátem je i historicky významný **antický purpur** (obr.14), chemicky 6,6' dibromindigo (také substituce na fenylu vede k barevnému posunu), který se získával ze žláz mořského plže ostranky jaderské. Byl tak vzácný a drahý, že nošení oděvů obarvených antickým purpurem bylo výsadou těch nejmocnějších- císařů. Není divu, ve starověku býval purpur totiž až 20x dražší než zlato, protože na obarvení 100 g lněného vlákna bylo potřeba asi 1,4 g purpuru získaného z 12 tisíc plžů.[5]



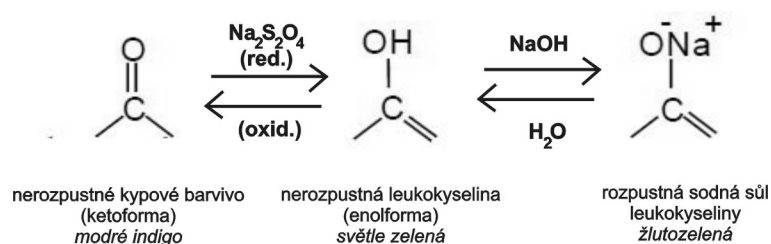
Obr.14: Antický purpur

8. Barvení indigem

8.1 Kypování- redukce

Modrý pigment, indigo, je ve vodě nerozpustný, proto se nedá použít k barvení textilních vláken přímo. K tomu je potřeba převést ho nejprve procesem **kypování**, tj. redukcí v alkalickém prostředí, na rozpustnou sůl (tzv.leukoformu). Teprve v této formě je barvivo nataženo na vlákno.

Důležitou částí indigoidních barviv je ketoskupina, která je pomocí redukčního činidla převedena na leukokyselinu kypového barviva (enol forma), které je však ještě stále nerozpustné ve vodě. Teprve pomocí zásady (soda, potaš, sodný nebo draselný louh) je tato leukokyselina neutralizována na sodnou či draselnou sůl rozpustnou ve vodě.(3) Kypa je tedy roztokem této sodné či draselné soli ve vodě. Kypa je stálá jen v zásaditém pH, v přítomnosti nadbytku redukčního činidla. Pokud kypu zředíme vodou, reakce se zvrátí opět opačným směrem, dojde k hydrolýze soli a vzniká větší množství leukokyseliny. Úplně se leukokyselina vyloučí při okyselení asi na pH=5.



(3)

Dávkování redukčního činidla se v různých předpisech trochu liší, v zásadě však lze vyjít z jednoduché úvahy, že na redukci 1 molekuly indiga je potřeba 1 molekula dithioničitanu a k tomu je nutné počítat (obzvláště při laboratorním způsobu barvení v kádinkách) se ztrátami redukčního činidla, které způsobuje vzdušný kyslík reagující s dithioničitanem. Molární hmotnost indiga je zhruba 1,5x větší než molární hmotnost dithioničitanu sodného, pokud je potřeba k redukci 1 molu indiga použít 1 mol dithioničitanu, zdá se tedy rozumné dodržet hmotnostní poměr indigo/dithioničitan zhruba 1:1,5 nebo pracovat s mírným přebytkem dithioničitanu.

Při kypování je potřeba neustále sledovat vzhled kypu. Měla by mít žlutozelenou barvu. Textilie vytažená z barvicí lázně by měla být žlutozelená a na vzduchu zvolna zelenat a pak modrat. Nedostatek dithioničitanu se projeví např. tím, že textilie po vyjmutí z lázně příliš rychle zelená. Zároveň je zbytečně pro barvení ztraceno indigo, které nebylo pro nedostatek redukčního činidla zkypováno. [19]

Ještě závažnější chybou může být příliš velké množství dithioničitanu, které se projeví žlutým až zlatým zabarvením kypy, textil vytažený z lázně na vzduchu příliš pomalu zelená a v důsledku **přeredukování** indiga je výsledné vybarvení příliš slabé a často neegální. Při přeredukování indiga dochází k tomu, že se skupiny -ONa nahrazují vodíkem, což se projeví snížením rozpustnosti indiga a snížením afinity k vláknu, (u některých barviv se přeredukce projeví též změnou odstínu).[19]

Při kypování a barvení je nutné také průběžně kontrolovat alkalitu lázně. K barvení i kypování je potřeba poměrně silně zásadité prostředí, ovšem i zde hrozí při příliš vysokých dávkách NaOH hydrolýza indiga a následné neegální a slabé vybarvení textilie. Nebezpečí předávkování louhem je však menší než nebezpečí přeredukování.

8.1 .1 Kypování v matečné kypě

Kypová barviva, která se hůře redukují, se kypují v matečné kypě. Tento postup se také nejčastěji používá u indiga. Nejprve se připraví matečná (koncentrovaná) kypa - celá dávka barviva se smíchá s menším množstvím teplé vody, přidá se část celkového množství NaOH i dithioničitanu, případně egalizační TPP a nechá se zhruba 10-15 minut reagovat. Následuje příprava barvicí lázně z matečné kypy, kdy se doplní celkový objem vody, NaOH i dithioničitanu.

8.1 .2 Kypování v barvicí lázni

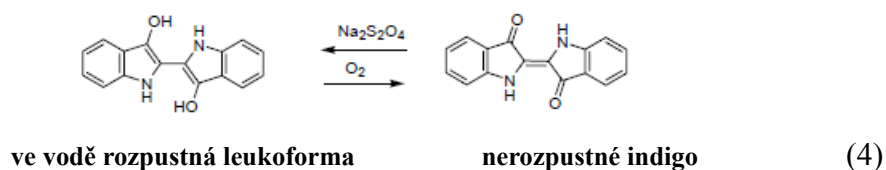
V laboratorních podmínkách lze použít i kypování v barvicí lázni, které je jinak určeno pro snadno redukovatelná barviva, kdy se připravené barvivo, TPP i NaOH smíchají hned na začátku v celém množství a hned se přidává i celé množství dithioničitanu, zahřátá lázeň se nechá 10-30 minut zkypovat.

8.2 Natažení barviva na vlákno

Nejprve se sůl leukokyseliny adsorbuje na povrch vlákna, pak difunduje dovnitř a zde dojde k vykrystalizování barviva. Ve srovnání s jinými (také substantivně natahujícími) barvivami má indigo poměrně malou molekulu a jeho vazebné možnosti (vodíkové můstky, Van der Waalsovy síly) jsou tím značně omezené. Za své trvalé uchycení v mikropórech vláken vděčí především své schopnosti vytvářet větší shluky, agregáty, které již pro svou velikost nemohou mikropóry vlákna opustit a barvivo tak zůstává "uzamčeno" ve vláknech.

8.3 Oxidace

Po upevnění rozpustné soli leukokyseliny na vláknech následuje reoxidace, kdy se žlutozelená leukoforma barviva mění zpátky na nerozpustné modré indigo, nyní již bezpečně uzamčené uvnitř vláken. (4)



8.4 Praní

Po reoxidaci barviva se provádí důkladné praní - v praxi se na závěr barvení indigem zařazuje ještě tzv. "horké mydlení" s přidavkem sody, při kterém se nejen strhne z vlákna povrchově ulpělé barvivo, které by bylo příčinou zhoršených stálostí, ale zároveň dojde i k dalšímu vykrystalizování či překrystalizování barviva ve vláknech, čímž se dosáhne brilantnějšího odstínu a vyjasnění barviva.

8.5 Technologie barvení indigem

8.5.1 Klocovací způsob

Běžný je kontinuální klocovací způsob PAD-Steam, při kterém je na tkaninu naklocována prostřednictvím fuláru zahuštěná suspenze indiga, na dalším ("chemickém") fuláru je naklocována směs louhu a dithioničitanu, poté dojde v kontinuálním pařáku k šokovému zkypování s následnou difúzí do vláken, dále probíhá oxidace, praní, horké mydlení a opět praní. Tento způsob nevyužívá afinity barviva k vláknu a chemické reakce i difúze barviva do vlákna probíhají ve velmi krátkých časech.

8.5.2 Láznový (vytahovací) způsob

Barvivo sorbuje do vláken z vodné lázně nejprve na povrch vláken, potom pomalou difúzí do nitra. Tento způsob barvení znamená především větší spotřebu vody, v praxi je používaná délka lázně (tj. hmotnost barvené textilie v kg : objem barvicí lázně v litrech) 1:3 až 1:20. V laboratorních podmínkách byla používána délka lázně přibližně 1:50 (1 g bavlněné tkaniny : 50 ml lázně).

Láznový způsob využívá afinity barviva k vláknu a trvá déle- běžně kolem 1 hodiny.

8.6 Chemikálie

V barvířské praxi se při barvení indigem používá dnes již jako redukční činidlo výhradně dithioničitan sodný ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) a k dosažení alkality lázně hydroxid sodný (NaOH), dříve se jako zásada používalo hašené vápno nebo potaš získaná z dřevěného popela, jako redukční činidlo zkvašená moč, později též glukóza, zelená skalice nebo zinkový prášek. K reoxidaci barviva na vlákne se používá kromě vzdušného kyslíku také roztok peroxidu (H_2O_2) nebo peroxosolí.

8.7 Neegality

Hlavním problémem při barvení indigoidními barvivy je příliš rychlé barvení - sodné soli leukokyseliny kypových barviv patří k velmi rychle táhnoucím barvivům, z čehož vyplývá značná neegálnost vybarvení. Lázeň se hned na začátku barvení velmi rychle vyčerpává a vzhledem k velmi nízké migrační schopnosti barviva (barví se při poměrně nízké teplotě, 40-60 °C) trvá případné vyegalizování velmi dlouho.

Neegality způsobené příliš rychlým vytažením barviva je možné kompenzovat použitím egalizačních TPP - retardérů (např. Syntapon TE), které díky své afinitě k barvivu zpomalí jeho vytahování z lázně. Další možností je barvení leukokyselinou (vysrážené z kypy např. přidáním kys.octové a okyselením přibližně na pH=5), kdy se její jemnou disperzí (s použitím dispergačních TPP) nakločuje textilie a následně se provede fixace barviva "slepou kypou", což je roztok obsahující louh a dithioničitan. Proběhne tak redukce, fixace a následná reoxidace barviva in situ. [19]

8.8 Faktory ovlivňující barvení indigem

8.8.1 Vliv pH

Barvení indigem je možné jen v zásaditém prostředí. Nepříliš vysoké hodnoty pH, kterých lze dosáhnout použitím sody (pH kolem 9) vyhovují barvení na alkalické prostředí citlivé vlny. Pro každé indigoidní barvivo existují hodnoty pH, při kterých se nejlépe zkypuje (optimální množství NaOH).

Pro indigo obecně platí, že jeho rozpustnost roste s rostoucím pH lázně. Při **pH=11** je indigo ve stavu částečně rozpustného mononatrium leukoindiga (monoiontová forma), které je méně rozpustné, avšak má vyšší afinitu k bavlněnému vláknu, což se projeví rychlým natažením na vlákno (obr.15). Vlivem rychlého natažení barviva dojde k jeho nakupení pouze v povrchových vrstvách (**prstencové probarvení**), což se kromě neegalit projeví také značně sytější odstínem vybarvení. S rostoucím pH se leukoindigo stává rozpustnějším, při **pH=13** je více molekul ionizováno až na dinatrium leukoindigo (diiontová forma), zároveň se však stává méně afinním k vláknu,

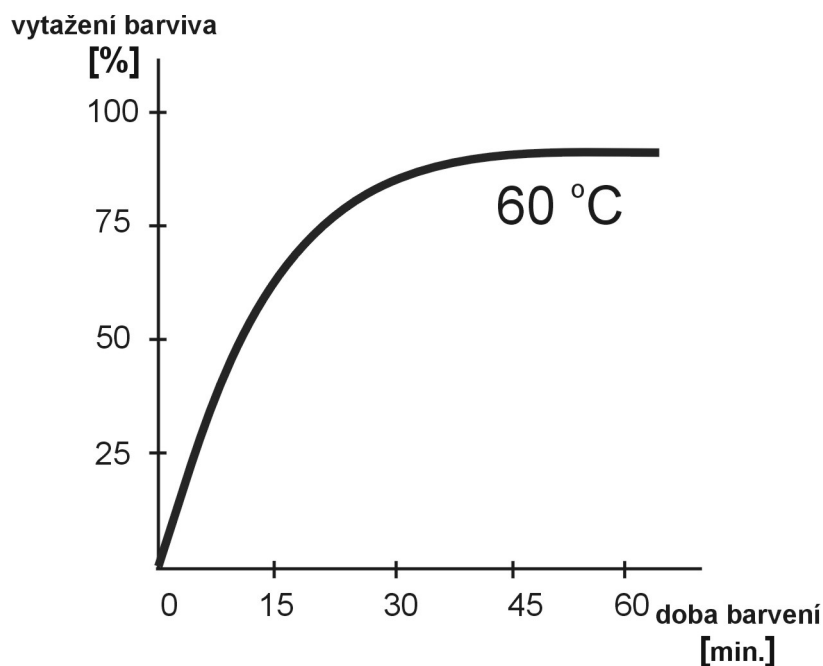
je odpuzováno záporně nabitou celulózou (při vysokém pH je celulóza také ionizována ve formě tzv. alkaliceululózy). Tak dochází k probarvování celulózových vláken pomaleji, zato však do větší hloubky (**hluboké probarvení**), což se navenek projeví světlejším odstínem vybarvení, zároveň se však toto vybarvení stává egálnějším. Toto hluboké, pomalejší a egální vybarvení je u většiny zboží žádoucí, paradoxně lze však využít i povrchového prstencového vybarvení. Povrchově nakupené barvivo u nedostatečně probarvených vláken je nejen samo o sobě neegální, ale má navíc horší stálosti v oděru. Účelovým odíráním různými technikami, např. praním s odíracími elementy, lze tohoto zvýšeného oděru cíleně využít k dosažení zajímavých vizuálních efektů, jako např. u kdysi módních "plísňových" džínovin.[20]



Obr.15: Schematické znázornění probarvení vláken při různém pH

8.8.2 Vliv teploty a doby barvení

Pro láznový způsob barvení platí, že s rostoucí teplotou lázně se zvyšuje rychlost částic barviva a dochází k rychlejší difúzi barviva do vláken. Toto se uplatňuje hlavně v 1.fázi barvení (exponenciální průběh vytahovací křivky, obr.16). Ve 2.fázi barvení se však projevuje spíše protichůdný jev, kdy se s rostoucí teplotou snižuje afinita barviva k vláknu (protože barvení samotné je exotermní proces, působí zvyšování teploty vlastně paradoxně proti tomuto procesu). Množství vytahování barviva z lázně se snižuje a s narůstajícím časem se vytahovací křivka už jen mírně přibližuje k rovnovážnému stavu. U barvení indigem je obecně udávána doba barvení kolem 1 hodiny, s tím, že další prodlužování barvení nevede již k výraznějšímu vytažení barviva z lázně, teplota barvení kolem 40-60 °C.



Obr.16: Vytahovací křivka barviva

Vzhledem k tomu, že pro každé kypové barvivo existuje optimální (nejen) teplota, při které nejlépe táhne na vlákno, byla kypová barviva pro praktické účely rozdělena do 3 skupin (Tab.3):

třída	metoda	teplota [°C]	NaOH [g/l]	NaCl [g/l]	afinity k tex. vláknu
IN	horká	50-60	5	0	vysoká
IW	teplá	40-50	2	10-20	střední
IK	studená	20-30	2	15-25	nízká

Tab.3: Kypovací metody a podmínky různých tříd kyp.barviv

V podstatě lze říci, že horký způsob se používá pro velké planární molekuly, kde leukoanionty mají vysokou afinitu k vláknu a tím pádem se nemusí do lázně přidávat sůl. Naopak studená metoda je pro malé molekuly, které sice rychle difundují do vlákna, ale mají malou substantivitu k celulosovému vláknu a leukobarvivo je proto potřeba z lázně vysolit. [17]

Indigo vyžaduje při kypování zvláštní postup, nejbližší však má ke kypovým barvivům skupiny IW. Přesto se v žádné prostudované receptuře neobjevuje zmínka o použití neutrálního elektrolytu (NaCl) ke zlepšení vytažení barviva z lázně.

8.9 Receptury pro barvení syntetickým indigem

Ruská receptura (Šmelev) pro láznový způsob barvení v přepočtu pracuje s 1,3 g indiga, 1,7 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ a asi 2 g NaOH/ 1 litr lázně. Nejvyšší koncentrace se udává 2 g práškového indiga/ 1 litr barvicí lázně. [19]

Další receptura IG Farbenindustrie pracuje s poměrem indigo: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 1:1, a to při použití 4 kg indiga, 40 l vody, 8 l NaOH a 4 kg $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$.

Kypování i barvení probíhá v obou případech při teplotě 50 - 60 °C, kypování trvá 10-20 minut a barvení asi 1 hodinu, indigo se kypuje v matečné kypě. [19]

Další možností je příprava kaše z 1 lžice sody, trochy horké vody a 2-3 lžic indiga, tato směs se po půlhodině přidá do 4,5 l lázně s 25 g redukčního činidla, lázeň má mít 50 °C a kypování trvá až 45 minut. [8] Doba barvení asi 15 minut, také je zmíněno opakované vkládání barveného materiálu (pasážování).

Jiný recept uvádí kypování i barvení indigem zcela bez ohřevu, za studena: 0,5 litru studené vody + 6 ml 10% roztoku NaOH + 0,1 g dithioničitanu, po promíchání přidat 2,5 g práškového 60% indiga, kypovat za studena 15 minut, barví se 2x 5 g bavlny 10 minut, oxidace na vzduchu 5 minut, oplach ve studené vodě, opětovné barvení 10 minut, s další 20 minutovou oxidací a konečným oplachem. [21]

Další návod má demonstrovat rychlé "naskakování" barviva na textilií a je určen k získání hodně sytého až bronzujícího efektu: 20 ml vody 50 °C + 4 ml 10% NaOH + 0,1 g dithioničitanu + 2,5 g indiga 60%, nechat 5 minut stát, doplnit do 200 ml studenou vodou a nechat kypovat 30 minut. Lázeň je určena pro 5 g bavlny a aplikováno pasážování ("dip") = opakované ponory s navazující oxidací na vzduchu:

- 1.dip 20 minut - oxidace 10 minut
- 2.dip 2 minuty - oxidace 5 minut
- 3.dip 30 sekund - oxidace 20 minut
- 4.dip 30 sekund - oxidace 5 minut [21]

9. Stálosti

Indigoidní barviva vykazují **vysoké stálosti na světle a v praní**, o něco horší v oděru. Příčinou vysokých stálostí na světle a v praní jsou agregáty - mikrokrystalky barviva, do kterých se barvivo ve vlákne po opětné oxidaci shlukne. Horké mydlení tyto stálosti ještě zlepší - nejen stržením nedostatečně ulpělého barviva z povrchu vláken, ale především dojde k rekrystalizaci již vzniklých shluků do ještě pravidelnějších útvarů. Vlivem vzniklé geometrie se sníží povrch útvarů a omezí se přístup ke světlem napadnutelným částem molekuly barviva. Rozptýlený pigment uvnitř vláken odolává i vyvářkovým lázním.[20] Z těchto důvodů se indigoidní barviva hodí k barvení a potisku zboží, které je extrémně zatěžováno povětrnostními vlivy nebo které je potřeba často prát a vyvářet (povlečení, ručníky, markýzy, praporoviny, slunečníky). I dnes je indigo díky složité dvanáctikrokové syntéze stále poměrně drahým barvivem, proto je používáno na luxusnější a dražší zboží.

"....dokonalé barvení kypovými barvivy je skutečným uměním...."

(Ing.dr. V. Felix)

II. Experimentální část

1. Popis základních postupů experimentů

V průběhu všech následujících experimentů byla popsána teplota vždy udržována zahříváním ve vodní lázni. Redukční činidlo bylo do lázni vždy nasypáno ve zhruba 2/3 dávce hned na počátku kypování, zbytek zhruba v polovině kypování, kypa i barvicí lázeň byly opatrně ručně míchány skleněnou tyčinkou, skleněné nádoby, ve kterých probíhalo kypování i barvení, byly jinak po celou dobu neprodyšně uzavřeny (minimalizace kontaktu lázně se vzdušným kyslíkem). Po skončení barvení byla každá tkanina opět ručně vyždímána a oxidace barviva na tkanině probíhala na vzduchu, a to po dobu 30-45 minut (do zaschnutí).

Horké mydlení bylo simulováno několikaminutovým intenzivním protřepáváním textile v horkém mýdlovém roztoku, na závěr byly všechny vzorky ručně vyprány a oplachovány studenou vodou a na vzduchu vysušeny.

Jednotlivá množství dithioničitanu, sody i louhu byla odvažována na jednoduchých analytických vahách s použitím kalibrovaných závažíček, která umožňovala vážit nejmenší množství 50 mg.

Testy byly prováděny na 100% bavlněné tkanině zn.Zuzana o plošné hmotnosti 140 g/m^2 , dostavě osnovy 260 a dostavě útku 230, která byla předupravena "mercerací bez napětí", tedy kontinuální oxidační alkalickou vyvářkou. Nebyly používány smáčecí TPP, tkanina byla kvůli dobrému smočení před vlastním barvením pouze ponořena na několik minut do vroucí vody, poté důkladně vyždímána a po mírném ochlazení vložena do barvicí lázně.

2. Příprava extraktu z listů borytu

2.1 Extrakce studenou vodou

Nakrájené listí bylo částečně zalito studenou vodou a takto louhováno při pokojové teplotě po dobu 1 - 6 dní. Tímto byl simulován způsob extrahování v tropických indigotériích (máčení rostlin ve vodě a přirozený kvasný pochod). Jednotlivá množství listí i další postup zpracování byly ve všech případech shodné:

Extrakční lázeň: 10 g listí/ 50 ml studené vody

Oxidace indiga: 15 minut intenzivní oxidace s 0,1 g sody

Kypování: 20 minut, 45 °C, 0,3 g dithionič.

Barvení: 1 g bavlny , 1,5 hodiny, pokojová teplota

Horké mydlení a praní: simulováno několikaminutovým protřepáváním ve skleničce s horkým mýdlovým roztokem, ruční praní (stejný postup u všech dalších vzorků)

Diskuze a hodnocení výsledku:

Tento postup nebyl úspěšný. Bylo dosaženo jen velmi světlých odstínů, přičemž nejsilnější barvy bylo dosahováno po 2 dnech máčení listů (obr.17 bar.přil.), poté se sytost opět zhoršovala. Je možné, že v lázni docházelo k rozkladným procesům. Navíc při dalším zpracování (provzdušňování) lázeň dlouho a silně pěnila, patrně vlivem obsahu rostlinných tenzidů - saponinů, což bylo pro barvení nežádoucí.

Neúspěch tohoto postupu je možné vysvětlit tím, že v indigotériích byla nejspíš již v této fázi používána nějaká alkalizující přísada, která však není v literatuře nikde zmíněna. Získat indigo pouhým máčením rostlin ve vodě i při sebelepším provzdušňování lázně je nemožné.

Samotný boryt ve středověku nebyl přímo máčen ve vodě, jen dlouhodobě kvasil rozemletý na hromadách, následně ve vlhčených koulích, které byly už v této fázi údajně skrápěny zkvašenou močí. Je možné, že zkvašená moč v této fázi neměla funkci redukční, ale alkalizující (vlivem přítomného čpavku). Tento způsob kvašení se však nepodařilo laboratorně napodobit, při pokusech o fermentaci listy plesnivěly a extrakt z nich získaný byl neúčinný.

2.2 Extrakce teplou vodou

Rozkrájené listí bylo louhováno teplou vodou (max. 50 °C) po dobu 1 hodiny. [8]

Extrakční lázeň: 5 g listí/ 50 ml vody

Oxidace indiga: 15 minut intenzivní oxidace s 0,1 g NaOH (0,1 g sody)

Kypování: 20 minut, 45 °C, 0,3 g dithionič.

Barvení: 1 g bavlny , 1 hodina, pokojová teplota

Zhodnocení výsledku:

Bylo dosaženo o něco sytějšího odstínu než při louhování za studena, ovšem bylo nutné neustále sledovat teplotu, její překročení způsobilo ztrátu barvicí schopnosti.

2.3 Extrakce vroucí vodou

a) Celé listy byly přelity vroucí vodou, extrakce probíhala 3-5 minut [16]

b) Nakrájené listy byly přelity vroucí vodou, a to na dobu 1, 3, 5, 7 a 10 minut

V obou případech se teplota při celé době extrakce pohybovala v rozmezí od cca 90 °C (na počátku) do 70 °C (postupné mírné chladnutí v horké lázni). Po ukončení extrakce byl vždy vylouhovaný materiál ihned odfiltrován (tekutina z filtrátu byla zároveň také důkladně "vyždímána" do extrahované lázně) a extrakt okamžitě zchlazen na cca 40 °C.

Extrakční lázeň: 5 g listí/ 50 ml vroucí vody

Oxidace indiga: 15 minut intenzivní oxidace s 0,1 g NaOH (= 2 g NaOH/litr)

Kypování: 20 minut, 45 °C, 0,2 g dithionič.

Barvení: 1 g bavlny , 1 hodina, při 40 °C, na konci barvení zchlazení na pokoj.teplotu

Na obr.18 (bar.příl.) je porovnání účinnosti 3 způsobů extrakce indoxylu (s následným převedením na indigo) z borytu, a to postupem dle Bidlové (rozkrájené listy 1 hodinu v lázni 45 - 50 °C), postupem dle Mortierových (přelití celých listů vroucí vodou a pětiminutová extrakce) a postupem, který vlastně kombinuje oba předchozí

způsoby- drobně pokrájené listy přelité na několik minut vroucí vodou. (Další postup kypování i barvení byl ve všech třech případech stejný).

Je zřejmé, že nejúčinnějším způsobem extrakce indiga z listů borytu je extrakce vroucí vodou, nutné je však přelít na drobně nakrájené listy. Další výhodou použití vroucí vody bylo **značné snížení pěnivosti** lázně - vysoká teplota částečně inaktivovala rostlinné tenzidy.

Další pokusy byly zaměřené na zjištění optimální doby extrakce vroucí vodou. Rozdíly v získaném vybarvení již nebyly tak markantní jako v předchozích případech testování různých způsobů extrakce, nicméně se ukázalo, že existuje patrně jisté časové rozmezí, při jehož dodržení lze dospět k nejlepším výsledkům v množství indoxylu získaného hydrolyzou indikanu, což znamená i zisk většího množství indiga a následně i sytějšího vybarvení textilie. (obr.19 bar.příl.)

Hodnocení výsledku:

Byl vyzkoušen postup extrakce teplou vodou dle paní Bidlové a ověřeno, že dlouhodobé teploty nad 60 °C skutečně borytovou lázeň zcela zničily. Intenzita vybarvení dosažená tímto postupem však byla zcela neuspokojivá. Postup dlouhodobého zahřívání listů při nižších teplotách se ukázal být velmi málo účinný.

Razantnější způsob extrakce vroucí vodou dle Mortierových a paní Robertsové přinesl mnohem lepší výsledky. Vroucí voda v tomto případě lázeň nezničí, smí však působit jen řádově v minutách.

Opakovanými pokusy bylo zjištěno, že nejintenzivnější barvy lze dosáhnout extrakcí vroucí (a případně postupně chladnoucí) vodou, kterou je však nutno přelít **listy nadrobně nakrájené**, přičemž **optimální doba působení horké vody se pohybuje mezi 5 a 7 minutami**, potom už dochází k postupné likvidaci barvicí lázně.

Kratší doba působení horké vody znamená zbytečně nízký zisk indiga, velmi krátká doba nepostačuje k tomu, aby horká voda zhydrolyzovala maximum přítomného indikanu. Teplota vody však zároveň musí být po celou dobu udržována mezi 90 a 70 °C.

Je zajímavé, že listy na jaře 2.roku snesly při extrakci na rozdíl od vegetačního období v 1.roce i krátkodobý var (2-5 minut), při kterém v 1.roce už docházelo k inaktivaci účinné látky a extrakt se stával pro barvení bezcenný, doba varu delší než 10 minut však zcela zničila i extrakt z listů ve 2. roce. Nejbezpečnějším a zároveň i energeticky ne příliš náročným způsobem získání kvalitního extraktu z listů borytu se tedy jeví několikaminutové (5-10 min.) působení vody o teplotě max.90 °C na nakrájené listy.

3. Získání indiga z extraktu

Extrakt z listů borytu byl nhrubo zfiltrován, zchlazen na cca 40 °C a alkalizován, následně několik minut (5-15) intenzívně provzdušňován (protřepáváním, přeléváním, mícháním, mixováním). Alkalizace byla prováděna sodou nebo NaOH, a to v dávce odpovídající následnému kypování a barvení (viz dále), s dosažením pH od 8 do 12.

Diskuze:

Při použití sody dochází k malé alkalizaci extraktu (přibližně pH=8-9), což nevede k příliš velkému zisku indiga z indoxylu. Ani při velmi intenzívní oxidaci se v extraktu či pěně neobjevovala modrá zrnka indiga, jak je uvedeno v literatuře.[8]

Přesto určité malé množství indiga vznikne, protože i s vizuálně slabě zeleným až nahnědlým slabě zalkalizovaným extraktem (dle množství použitých listů) lze obarvit tkaninu na slabě modrý odstín.

Zvýšení alkality extraktu (na pH=11-12) za pomoci NaOH vede k mnohem lepším výsledkům v množství získaného indiga v roztoku. Už cca po 30 sekundách se i při mírném protřepávání začíná roztok zbarvovat nejprve tmavě hnědočervenou a v zápětí temně tyrkysovou barvou a v pěně se objevují modrá zrnka indiga. (obr.20 bar.příl.)

Hodnocení výsledku:

K vyoxidování indiga z extraktu je potřeba alkalické prostředí, ukázalo se, že čím vyšší pH, tím je i zisk indiga vyšší (obr.21 bar.příl.). K účinnému vyoxidování indiga z extraktu rozhodně nepostačuje pH dosažené působením sody, je potřeba lázeň silně alkalizovat louhem. V této fázi je však extrakt velmi nestabilní a je proto potřeba jednak pracovat rychle, horký extrakt co nejrychleji ochladit alespoň na 40 - 50 °C a ihned alkalizovat. Alkalizace horkého extraktu, stejně jako skladování extraktu bez alkalizace několik hodin či do 2.dne- to obojí vede k velmi rychlé ztrátě barvicího účinku.

Byla testována různá doba provzdušňování tohoto roztoku, ale výsledná vybarvení tkaniny se takřka nelišila. Zdá se, že k maximálnímu zisku indiga - pospojování přítomných indoxylů v silně alkalickém prostředí- dochází krátce po zalkalizování roztoku a již při mírném protřepávání. Protřepávat tedy stačí 5-10 minut, větší množství indiga se již dalším provzdušňováním nezíská.

4. Kypování

Extrakt (alkalizován již při předchozí operaci, kdy v roztoku vzniká indigo) byl rozdělen na 50 ml dávky do jednotlivých uzavíratelných skleniček (takto byl již od počátku rozdělen a připraven pro následné barvení 1 g tkaniny v jednotlivé lázni, většinou byla tedy použita délka lázně 1:50), jednotlivě dávkován dithioničtan, kypovací lázeň byla mírně promíchána a následně probíhala redukce 15-20 minut při 45 °C.

Extrakční lázeň: 10 g listí/ 50 ml vroucí vody

Oxidace indiga: 10 minut , 2 g NaOH/litr

Kypování: 20 minut, 45 °C, různá množství dithionič. (0,1 až 0,4 g/50ml)

(obr.22 bar.příl.)

Barvení: 1 g bavlny , 30 min. při 60 °C, 20 min. chlazení

Dále byla pokusně navozeno přeredukování použitím velkého množství dithioničitanu (0,5 až 2 g dithion. na 50 ml lázně). (obr.23 bar.přil.)

Extrakční lázeň: 10 g listí/ 50 ml vroucí vody

Kypování: 20 minut, 45 °C, různá množství dithioničitanu (0,5g, 1g a 1,5 g/50 ml lázně)

Diskuze:

Zvolená extrakční metoda horkou vodou limituje množství listí, které lze použít na přípravu 50 ml extraktu (= 50 ml barvicí lázně), je zřejmé, že např. 1 kg listí (byť na drobno rozsekaného) nelze zalít např. 10 ml vroucí vody. Tento nevýhodný poměr lze zlepšit tak, že se k extrakci použijí listy bez řapíků. Je to sice pracnější způsob, ale pro získání sytějšího vybarvení výhodný, protože řapíky (včetně silného žebra tvořícího osu listu) mají nejen značný objem, ale také představují celou třetinu hmotnosti listu (!)

a bylo spolehlivě odzkoušeno, že samotné řapíky jsou pro barvení naprosto bezcenné.

Jedná se tedy o zbytečný balast znevýhodňující celé barvení. Při zpracování větších objemů listové hmoty by bylo jistě výhodné uvažovat o nějakém jednoduchém zařízení, které by tuto "balastní třetinu" z listů odstraňovalo.

Běžně bylo tedy na 50 ml vody používáno 5 až 10 g drobně nakrájených čerstvých listů borytu bez řapíků, přičemž reálně lze zvyšovat tento poměr až do cca 15 g jemně nakrájeného materiálu/50 ml vody.

Od počátku tedy bylo jasné, že tento jinak jednoduchý a elegantní způsob extrakce barviva z listů borytu přináší nevýhodu pro silnější vybarvení jednak tím, že jde o barvení láznovým způsobem, a to navíc při značné délce lázně, která opět zhoršuje vytahování barviva (v laboratorních podmínkách lze pracovat max. s poměrem lázně 1:30, potom už není možné zajistit dostatečné ponoření tkaniny v lázni) a jednak tím, že koncentrace získaného barviva v lázni je díky limitovanému množství extrahovaného materiálu také omezena (možnost zakoncentrování roztoku např. odpařováním nebyla zkoušena).

Vzhledem k tomu, že z borytu lze získat méně než 0,5 hmotn.% indiga, znamená to, že v 50 ml extraktu z např. 10g listí může být obsaženo v ideálním případě 50 mg indiga. To by odpovídalo 50-100 mg dithioničitanu potřebného na jeho zkypování (viz kapitola 8.1)

Hodnocení výsledku:

Pokusy ukázaly, že oproti předpokladu je třeba použít ke zkypování větší množství dithioničitanu než u syntetického indiga, běžně kolem 0,2 - 0,3 gramu dithioničitanu na 50 ml lázně vyextrahované z 5-10 g listů, tedy 2-3x větší množství, než je uváděno v předpisech pro zkypování čistého indiga. Nebylo snadné dosáhnout "přeredukce".

Toto překvapivé zjištění lze vysvětlit tím, že z rostliny jsou spolu s indoxylem zároveň vyextrahovány další látky s oxidační schopností, takže je značná část dithioničitanu inaktivována při oxidaci ostatního organického materiálu v roztoku.

Při záměrném přeredukování (s použitím extrémně vysokých dávek dithioničitanu (až 2g/ 50 ml) nedošlo k žádné výrazné změně odstínu, a to ani při barvení syntetickým indigem, v případě borytu bylo získané vybarvení jen světlejší a neegální. Takto vysoké dávky dithioničitanu však zároveň (vlivem vznikajících vodíkových iontů) celou lázeň opět značně okyselují, proto je potřeba při kypování a při barvení průběžně kontrolovat pH lázně a případně dodatečně alkalizovat.

Zjištění, že indigo i při nadměrných dávkách použitého redukčního činidla nezměnilo barevný odstín textilie, lze vysvětlit tím, že v molekule indiga nejsou redukcí napadnutelná jiná místa, než dvě klíčové ketoskupiny, které se zredukují až na $-CH_2$ a to patrně nestačí k výraznému posunu ve vybarvení, pouze ke zhoršenému vytahování barviva z lázně.

Je potřeba sledovat celý průběh kypování i vizuálně, při teplotě 45 °C postačuje ke zkypování lázně asi 20 minut, borytovou lázeň však bylo možné kypovat i při teplotě 55-60 °C, v tom případě došlo ke zkypování už za 5-10 minut.

5. Barvení

Do zkypované lázně o objemu 50 ml byl vložen barvený materiál (1 g bavlny) a ponechán v lázni za občasného promíchání 1 až 2 hodiny, při teplotách od 60 °C do pokojové teploty.

Bylo prováděno barvení při různém pH lázně, s cílem dosáhnout co nejsytějšího vybarvení a posoudit vliv pH na konečné vybarvení textilie.

Extrakční lázeň: 10g listí/ 50 ml vroucí vody

Oxidace indiga: 10 minut, 2 g NaOH/litr

Následná úprava pH barvicích lázní s pomocí kyseliny octové a sody na pH=7,5 a 9, třetí lázeň byla ponechána v alkalitě použité při vyoxidování indiga, tj. pH=12

Kypování: 20 minut, 45 °C, 0,1 g dithionič./50 ml

Barvení: 1 g bavlny, 30 minut při 60 °C, 30 minut v chladnoucí lázni

Diskuze:

Základním a fatálním omylem při počátečním barvení borytem bylo dodržování postupů barvení doporučených všemi již zmíněnými barvířskými dílnami podle základního schématu: extrakce- alkalizování - oxidace indiga v extraktu - kypování- barvení - oxidace indiga na vlákně. Vzhledem k tomu, že v souladu s jejich ekologickým zaměřením v podstatě tito barvíři pracují pouze se slabými alkáliemi, dochází zde k významnému rozporu: pokud je cílem maximální zisk indiga z rostliny, nelze k barvení použít extrakt tak, jak v něm bylo indigo vyoxidováno a využít alkality roztoku pro následné kypování a barvení! Vyoxidovat indigo z extraktu tak, aby se dosáhlo vysoké výtěžnosti indiga a aby extrakt obsahoval opravdu makroskopicky viditelné indigové pigmenty, k tomu je potřeba silně alkalické lázně, které se za pomoci sody (navíc ještě v literatuře [8] doporučované potravinářské sody NaHCO_3) nepodařilo dosáhnout. Proto je nutné na počátku alkalizovat louhem (2-3 g NaOH/litr lázně). Tím se pH extraktu posune do hodnot kolem 12. Při této hodnotě (a podobném doporučeném dávkování NaOH pro barvení čistým indigem) bylo následně také prováděno barvení, ovšem pochopitelně bylo dosahováno pouze světlých odstínů. Pokud se však budeme snažit o **co nejsytější vybarvení** borytem, je nutné předpokládat jednak nízkou koncentraci barviva v lázni (viz diskuze v kapitole 4.Kypování), jednak je nutné barvit při velmi slabě alkalickém pH.

Proto je třeba silně alkalický extrakt s vyoxidovaným indigem opět okyselit (např. octem - tj. rotokem kyseliny octové) a při nepříliš alkalickém pH teprve provádět kypování a následně barvení.

Vzhledem k nízké koncentraci indiga v borytové barvicí lázni je to jediná možnost, jak dosahovat tmavě modrých odstínů, tedy maximálně využít povrchového barvení

jen mírně rozpuštěného indiga v kypě. S tím spojené neequality je možné buď přijmout jako žádoucí efekt nebo je zmírnit či odstranit barvením textile nikoliv za studena, ale při 60 °C s pozvolným chladnutím ve 2.polovině barvení, dále je možné použít egalizační TPP (použití některých egalizačních TPP - např. Alfonal, Syntapon, Texamerc- bylo testováno jen okrajově, nebylo náplní této práce), případně lze barvit mnohem delší dobu, než je doporučováno u indiga (viz níže).

Hodnocení výsledku:

Obr.24 (bar.příl.) ukazuje vliv pH na rozpustnost indiga, při nízkých hodnotách pH (blízkých se takřka neutrálnímu pH) je rozpuštěno (zkypováno) jen nepatrné množství indiga, které však má tendenci k rychlému natažení na vlákno. Při pH= 9 se barva kypy již mění z modrofialové na zelenou, protože v roztoku přibývá množství zkypovaného leukoindiga. K maximálnímu rozpuštění indiga (zkypování) dochází při pH=12, kdy je největší množství indiga v roztoku rozpuštěno a také převedeno na leukoformu. V tomto silně alkalickém prostředí dochází zároveň k pomalému a hlubokému barvení, a to vlivem vzájemně se odpuzujících záporných nábojů indiga (nyní již téměř dinatriumleukoindiga) a alkalické celulózy (viz kapitola 8.8.1 Vliv pH).

Experimenty potvrdily předpoklady z kapitoly 8.8.1, totiž že při nízkém pH "naskakuje" indigo na vlákno velmi rychle, povrchově a neegálně, při vysokém pH se vlákno probarvuje jen zvolna, do hloubky a egálněji, a že se stejnou koncentrací barviva v lázni je tedy za stejný čas dosaženo vizuálně světlejšího, i když znatelně egálnějšího odstínu. (obr.25 a 26 bar.příl.)

Nejzajímavějších efektů (nejtmavější a silně neegální vybarvení) bylo dosaženo při barvení opravdu velmi slabě alkalickou lázní (pH kolem 7,5), a to především při barvení za studena. Dochází tak k "plísňovým" efektům (obr.27 a 28 bar.příl.). Světlého "plísňového" vybarvení je možné dosáhnout s použitím menšího množství listů ve stejném objemu extrakční lázně (= s menší koncentrací barviva v lázni), dále při větší délce lázně, případně v kombinaci s přeredukováním barvicí lázně větším množstvím dithionititanu. (obr.28 bar.příl.)

Překvapivé bylo i zjištění, že značně sytějšího odstínu vybarvení lze při barvení borytovým extraktem dosáhnout až po cca 2 hodinách, zároveň v rozporu s teorií barvení indigem docházelo po této době ke znatelně egálnějšímu vybarvení než po 1 hodině, což by připouštělo určitou možnost vyegalizování kypového barviva migrací. (Při barvení čistým indigem je uváděno maximum vytažení z lázně již po necelé hodině s tím, že další prodlužování doby barvení nemá výraznější efekt). Tento rozdíl oproti čistému indigu je možné vysvětlit přítomností přirozených retardérů v extraktu, které celkové vytahování barviva z lázně v případě borytu zpomalují (obr.30 bar.příl.).

Okrajově bylo testováno také použití neutrálního elektrolytu (NaCl) pro zlepšení vytažení barviva z lázně, i když se v dostupných návodech pro barvení čistým indigem ani borytem NaCl při barvení nepoužívá. NaCl byl přidáván v celkové dávce 20g/litr ve dvou dílčích dávkách (2 x 1 g NaCl/ 50 ml), první po 30 minutách a druhá po dalších 20 minutách barvení. Výsledky nebyly vždy jednoznačné, přesto v některých případech (zvláště při malém obsahu indiga v listech na začátku a na konci sezóny) docházelo s NaCl k lepšímu vytažení barviva z lázně (obr.29 bar.příl.)

6. Výtěžnost

Jak již bylo několikrát zmíněno, různé prameny uvádějí výtěžnost indiga z borytu kolem 0,2-0,4 %. Na začátku vegetačního období, na podzim a na jaře bylo dosahováno při barvení borytem nejvýše světle modrého, odhadem nejvýše 0,5 % vybarvení (barevný odstín borytové modři se v průběhu roku trochu měnil). Ve vrcholném létě bylo dosahováno asi 2 % vybarvení.

Vizuelním porovnáním s bavlněnou tkaninou obarvenou syntetickým 100% indigem o koncentracích barvicí lázně od 3 do 30 mg indiga/50 ml lázně (při zachování délky lázně 1:50) je možné velmi přibližně odhadnout, že množství indiga obsaženého v borytu (resp.získaného z borytu) se při experimentech pohybovalo (vztaženo na 1 kg listů včetně řapíků) v rozmezí od 1 do 3 gramů. To odpovídá výtěžku indiga z borytu od 0,1 do 0,3%, což koresponduje s hodnotami uváděnými v literatuře.

7. Možnosti skladování a celoročního barvení borytem

Bylo testováno barvení extraktem z listů narostlých na jaře 2.roku, ze sušených listů, z mražených listů a barvení extraktem s vyoxidovaným indigem uchovávaným v chladu po několik měsíců.

Při přípravě extraktů i při barvení byly dodrženy již dříve popsané postupy.

Diskuze a hodnocení výsledků:

Běžně se k barvení používají listy z rostlin setých brzy zjara, sklízet lze nejstarší a největší listy postupným protrháváním zhruba od května, nejintenzivněji ale barví listy sklizené ve vrcholném létě, a to zhruba od července do září. S poklesem teplot na přelomu září a října došlo ke značnému snížení barvicí schopnosti, po prvním zámrazu už se listy k barvení nedaly takřka použít. Druhým rokem na jaře začne rostlina vytvářet vysoký stonek s mnohem menšími listy, které se nehodí pro barvení nejen proto, že jsou už značně menší, ale i proto, že jejich barvicí schopnost je nesrovnatelná s maximem z léta minulého roku. Je zde zřejmá závislost na teplotě a slunečním svitu, protože brzy zjara druhého roku byla barvicí schopnost listů nepatrná, vlivem předčasného velmi teplého a slunečného jara se však jejich barvicí schopnost opět zvýšila, i když intenzity letního maxima zdaleka nedosahovala.

Dle síly vybarvení při srovnatelných postupech klesla účinnost barvení v květnu 2.roku odhadem na třetinu (potřeba zhruba trojnásobné hmotnosti listů než v létě minulého roku k získání srovnatelného vybarvení).

S nestabilitou obsahu indiga v borytu je spojen také problém jeho skladování pro barvení v zimě. Dle Mortierových neexistuje způsob, jak listy uchovat tak, aby byly použitelné pro barvení v zimě. Bidlová naproti tomu uvádí postup barvení ze sušených listů dle Jeany Dean [8], při kterém se údajně barvitelnost sice sníží, nicméně je možné borytem nadále barvit.

Pokusy ukázaly, že uvedený způsob barvení pomocí **sušených listů** (extrakce teplou či horkou vodou, alkalizace, kypování...) je naprosto nepoužitelný, účinnost sušeného borytu byla nulová i při použití čerstvě usušených listů.

Další možností uchovávání borytového listí v barvitelném stavu by mohlo být **zmrazení**. Bohužel i tento způsob je značně nevyhovující, nejen kvůli problému, který vzniká s uchováváním velkého objemu listů v mrazicím boxu, ale také pro velký pokles barvicí schopnosti. Při takto uchovávaném materiálu, byť natrhaném v době největšího obsahu indikánu v rostlině, nelze získat nakonec lepší vybarvení, než jen velmi slabě modré (už po 1 měsíci zmrazení), po 8 měsících skladování v mrazáku už boryt takřka ztratil účinnost (obr.31 bar.příl.).

Pokud lze borytem kvalitně barvit jen v době vegetace, znamenalo by to jeho značně omezenou použitelnost jen na několik měsíců v roce. Dle prostudovaných zdrojů neexistuje jiný způsob celoročního barvení borytem, než je **rekuperace indigového prášku** z rostliny, který je možný skladovat.[1] Popsaný způsob získávání indigového prášku je však velmi náročný a zdoluhavý: extrakt s vyoxidovaným indigem je rozlit do více nádob, ve kterých se nechá mnoho hodin usadit. Kapalina se částečně odebere a získaná sedlina - břečka je vysušena. Pigment je totiž tak jemný, že jej nelze dost dobře přecedit ani přes filtry s otvory velkými několik desítek mikronů, navíc je potřeba filtrovat velké objemy, což trvá velmi dlouho a protože je v extraktu přítomen i jiný organický materiál, brzy se jemné póry filtru ucpou. T.Roberts filtruje roztok přes jemné japonské hedvábí, přesto se velká část pigmentu nezachytí.

Vzhledem k tomu, že se v prostudované literatuře nepopisuje jiný způsob uchovávání borytu než již zmíněné neúčinné barvení sušenými listy a příliš náročná rekuperace indigového prášku, byly hledány další možnosti, jak barvit borytem i mimo jeho vegetační období.

Poměrně jednoduchým a slibným způsobem uchovávání borytového extraktu v uspokojivě barvitelném stavu se ukázalo **skladování čerstvého extraktu** z rostlin s následným přidáním hydroxidu sodného a **s vyoxidovaným barvivem v lázni**, a to ve skleněné nádobě bez dalšího přístupu vzduchu, uchovávané v chladu při asi 7 °C (nesmí zmrznout!). Takto uchovaná lázeň poskytovala v podstatě stejnou intenzitu vybarvení textilie i po 7 měsících skladování. (obr.32 bar.příl.)

Závěr

Prastarý způsob získávání indiga (dlouhodobé kvašení listů) a kypování (alkalizace dřevěným popelem a redukce zkvašenou močí) je jen historickou zajímavostí, ke které se jistě ve světě dnes už nikdo při přírodním barvení vracet nebude, nicméně boryt barvířský zůstává velmi zajímavou barvířskou a energetickou rostlinou i v moderní době. I ekologicky orientované barvířské dílny ve světě běžně alkalizují a redukují lázně chemikáliemi, což pochopitelně nijak nezduřazňují, ale vyzdvihují právě tradici, použití rostlin a ruční práce.

Na rozdíl od jiných rostlinných barviv není barvení borytem zatíženo použitím mořidel, lze proto tvrdit, že jde o barvení sice řemeslně náročnější, ale jinak (relativně) ekologické a díky použití levných chemických surovin -louhu či sody a dithioničitanu sodného- zároveň materiálově docela levné. Výjimečnost v říši rostlinných barviv zajišťují indigo i vysoké stálosti vybarvení.

Podobně jako u syntetického indiga je možné s využitím znalostí o povaze tohoto barviva a s jistou dávkou zručnosti, zkušenosti a nadšení dosahovat i bez dalších egalizačních přípravků, případně v kombinaci s batikou (obr.34 bar.příl.) či barvením dalšími rostlinami jak relativně egálního vybarvení, tak i zajímavých barevných efektů. Barvení borytem by mohlo být - jak dokazují i dvě v práci zmíněné zahraniční barvířské dílny, Atelier des couleurs Mortierových z Picardie a barvířská a umělecká dílna Teres. Robertsové z Birminghamu- zajímavým doplňkem výtvarné i výtvarné činnosti malé ekologické farmy či dílny zaměřené na pěstování barvířských rostlin a na barvení přírodními barvivy. Celý proces je možné ještě doplnit o produkci "biopaliva 2.generace" - briket z vysušeného, rozdrceného a vylouhovaného rostlinného materiálu, kterého se při celém procesu zpracuje velké množství (obr.35 bar.příl.).

Je jasné, že vzhledem k malému obsahu indiga v borytu nelze očekávat výrazný návrat borytu do průmyslové textilní praxe, ale podobně jako např. biopotraviny nebo některé řemeslné výrobky, které se vracejí ke starým přírodním postupům, rostlinám a materiálům, by si mohl i boryt (jak ukazují zkušenosti s vhodně volenou reklamou v zahraničí) najít své příznivce u environmentálně orientovaných zákazníků i na českém trhu.



1

Obr.5: Středověký mlýn na drcení borytu ve Francii [10]



Obr.8: Boryt barvířský 3 měsíce po výsevu, květen 2008



Obr.9: Boryt barvířský 4 měsíce po výsevu, červenec 2008



Obr.10: Boryt barvířský v květu, květen 2009



Obr.11: Záhon borytu 1,5 x 1,5 m, červenec 2008



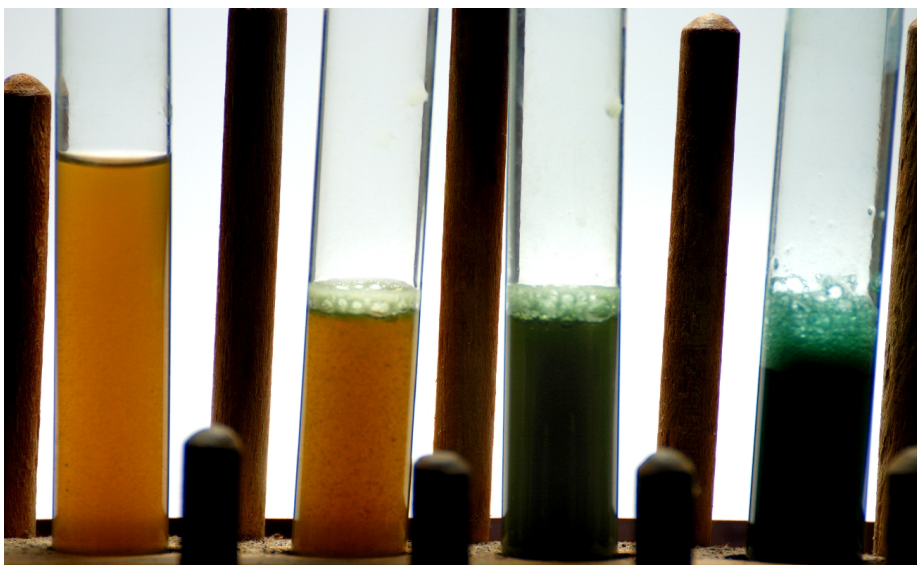
Obr.17: Vybarvení vlny a bavlny při louhování listů ve studené vodě



Obr.18: Vybarvení při extrakci dle Bidlové, dle Mortierových a při kombin.způsobu



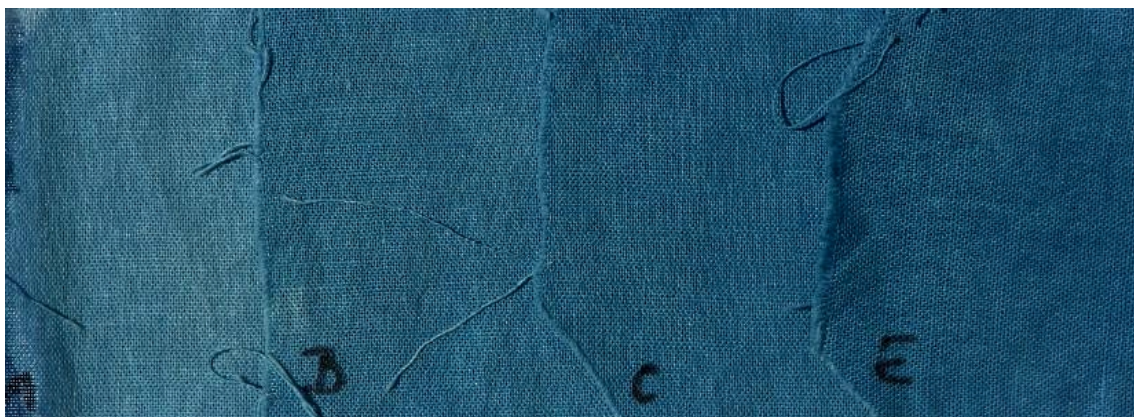
Obr.19: Vliv různé doby extrakce na intenzitu vybarvení (1, 3, 5, 7 a 10 minut)



Obr.20: Barva extraktu bez alkalizace, při pH=8,5 , pH=10 a pH=12 (zleva doprava)



Obr.21: Vybarvení při použití 0,5 g - 1 g - 2 g NaOH/litr pro získání indiga i pro samotné barvení (zleva doprava)



Obr.22: Kypování s 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 g dithioničitanu (barveno borytem)



Obr.23: Přereduování (kypování s 0,5 , 1 a 1,5 g dithioničitanu, barveno borytem)



Obr.24: Barva kypy při pH= 12, 9 a 7,5 (syntetické indigo)



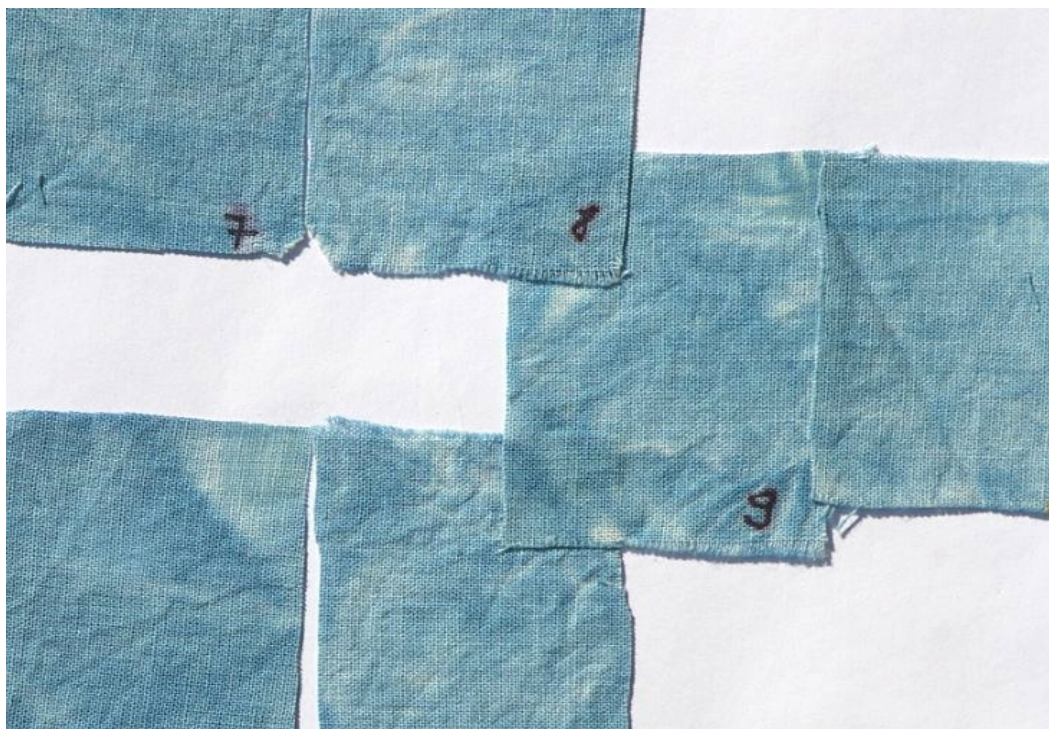
Obr.25: Barvení bavlny při pH= 10, 11, 12 a 13 (léto 2008, barveno borytem)



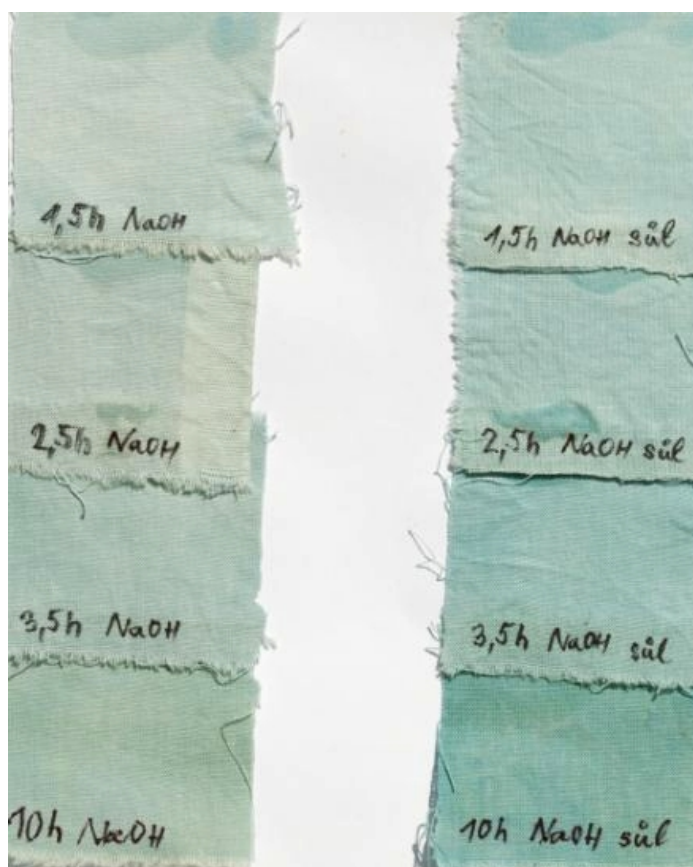
Obr.26: Barvení borytem při pH barvicí lázně 12 a 7,5 (květen 2009, 10 g listí/50 ml lázně)



Obr.27: "Tmavá plíseň" (barveno borytem)



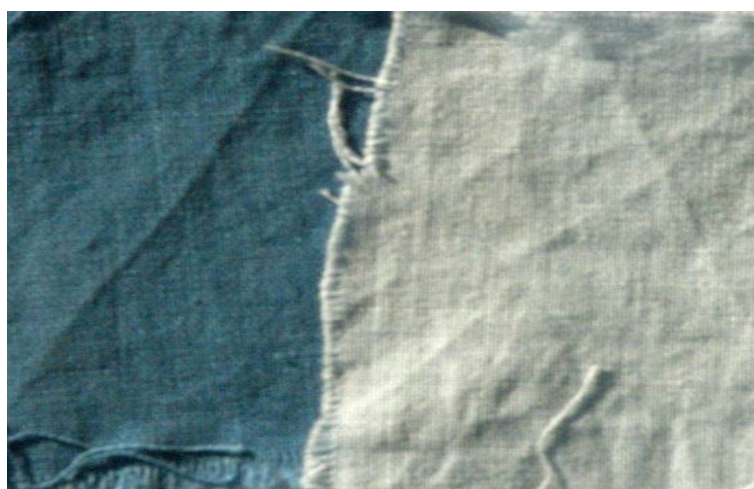
Obr.28: "Světlá plíseň" (barveno borytem)



Obr.29: Vliv NaCl na vytahování barviva z lázně (barveno borytem)



Obr.30: Vzorky ze stejných barvicích lázní po 1 hodině a po 2 hodinách (barveno borytem)



Obr.31: Jak barvily listy před a po 8 měsících skladování v mrazáku



Obr.32: Barvení stejným alkalickým extraktem z borytu na podzim a po 7 měsících skladování



Obr.33: Borytová vzorkovnice



Obr.34: Borytová módní přehlídka



Obr.35: Borytová briketa - biopalivo 2.generace :-)